



①⑨ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 199 34 215 C 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
H 03 C 1/52
H 03 D 7/00
H 04 L 27/36

②① Aktenzeichen: 199 34 215.6-35
②② Anmeldetag: 21. 7. 1999
④③ Offenlegungstag: -
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 29. 3. 2001

DE 199 34 215 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ **Patentinhaber:**
Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 81671
München, DE

⑦④ **Vertreter:**
Mitscherlich & Partner, Patent- und Rechtsanwälte,
80331 München

⑦② **Erfinder:**
Erhardt, Thomas, 81667 München, DE

⑤⑥ **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:**

DE	44 20 376 C2
DE	34 15 152 A1
US	58 47 619 A
US	47 17 894 A
US	58 61 781
US	48 90 301
US	48 16 783

⑤④ **Quadraturmischer mit adaptiver Fehlerkompensation**

⑤⑦ Bei einem Quadraturmischer, mit dem die Quadraturkomponenten eines ZF-Eingangssignals durch Mischen mit zwei in Quadratur zueinander stehenden Überlagerungsfrequenzen eines lokalen Überlagerungsoszillators in ein Ausgangssignal umgesetzt werden, wird das Ausgangssignal mittels eines analogen IQ-Demodulators auf die Zwischenfrequenz des Eingangssignals umgesetzt und aus den so rückgewonnenen Quadraturkomponenten wird dann in der Zwischenfrequenzlage a) der I und Q-Offset-Fehler bestimmt, b) mittels Zwischenfrequenz-Bandfilter und nachfolgender Gleichrichter der Imbalance-Fehler bestimmt, und c) durch Multiplikation dieser unter b) gewonnenen Signale der Quadraturfehler bestimmt;
aus diesen so ermittelten Offset-, Imbalance- und Quadraturfehlerwerten werden schließlich in einem Regler Korrekturwerte ermittelt, mit denen die Quadraturkomponenten des Zwischenfrequenz-Eingangssignals in fehlerkompensierender Weise fortlaufend (adaptiv) korrigiert werden, ohne daß das Nutzsignal beeinträchtigt wird.

DE 199 34 215 C 1

Die Erfindung betrifft einen Quadraturmischer laut Oberbegriff des Hauptanspruches.

Quadraturmischer finden immer mehr Anwendung in der Hochfrequenz-Übertragungstechnik. Durch das Prinzip der Quadraturmischung wird bei ideal arbeitenden Mixern ein Seitenband vollständig unterdrückt. Aufgrund von sogenannten Offset-, Imbalance- und Quadraturfehlern arbeitet in der Praxis ein Quadraturmischer jedoch nicht ideal und die Unterdrückung eines Seitenbandes sowie des Trägerrestes ist nicht optimal, so daß diese Signale als Störsignale am Ausgang des Mixers erscheinen. Es ist zwar bekannt, solche Quadraturmischer mittels Pegeldetektor oder Spektrum-Analysator (US-Patent 47 17 894 bzw. US-Patent 5 847 619) vor Benutzung zu kalibrieren, eine Ausregelung dieser Fehler ohne Unterbrechung bzw. Beeinträchtigung des Ausgangssignals ist mit diesen bekannten Verfahren jedoch nicht möglich.

Es ist Aufgabe der Erfindung, einen Quadraturmischer zu schaffen, mit dem ohne Beeinträchtigung des Nutzsignals die störenden Offset-, Imbalance- und Quadraturfehler fortlaufend (adaptiv) kompensiert werden können.

Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Quadraturmischer laut Oberbegriff des Hauptanspruches durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Bei einem erfindungsgemäßen Quadraturmischer werden laufend ohne Beeinträchtigung des Nutzsignals die Offset-, Imbalance- und Quadraturfehler ermittelt und zwar auf sehr einfache Weise durch einen analogen IQ-Demodulator, der die festgestellten Fehler vorzeichenrichtig einem Regler zuführt, in welchem dann die entsprechenden Korrekturwerte für die Kompensation der Quadraturkomponenten I und Q des modulierten ZF-Eingangssignals erzeugt werden.

$$I(t) = IM(t) \cdot \cos(\omega_{ZF} \cdot t) - QM(t) \cdot \sin(\omega_{ZF} \cdot t)$$

$$Q(t) = IM(t) \cdot \sin(\omega_{ZF} \cdot t) + QM(t) \cdot \cos(\omega_{ZF} \cdot t)$$

Gemäß der Erfindung findet also eine automatische Ausregelung der erwähnten Fehler, d. h. eine adaptive Fehlerkompensation statt. Das erfindungsgemäße Prinzip kann sowohl bei analogen ZF-Eingangssignalen als auch bei digitalen ZF-Eingangssignalen, die beispielsweise mittels eines digitalen IQ-Modulators erzeugt werden, angewendet werden, im letzteren Fall ist es vorteilhaft, unmittelbar am Ausgang des IQ-Demodulators die dort erzeugten Fehlerwerte in entsprechende Digitalwerte umzusetzen, so daß auch der Regler als reiner Rechner zur Verarbeitung der Fehlerwerte und zur Erzeugung der Korrekturwerte ausgebildet sein kann.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand schematischer Zeichnungen an Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt das Prinzipschaltbild eines Quadraturmischers 1, der aus zwei Mixern 2 und 3 besteht, denen einseitig die Quadraturkomponenten I und Q als moduliertes ZF-Eingangssignal aus einem IQ-Modulator 4 zugeführt werden, dem seinerseits die Basisbandsignale IM und QM als Modulationssignale zugeführt werden. Ein lokaler Überlagerungsszillator 5 erzeugt eine Trägerfrequenz f_{LO} , mittels eines 90° Phasenschiebers 6 werden zwei in Quadratur zueinander stehende Überlagerungsfrequenzen erzeugt, die den Mixern 2 und 3 zugeführt werden. Die so entstehenden Ausgangssignale werden in einem Addierer 7 zum Ausgangssignal A addiert.

Im Quadraturmischer 1 werden die ZF-Eingangssignale I und Q in die Frequenz $f_{RF} = f_{LO} + f_{ZF}$ des Nutzsignals NS umgesetzt. Aufgrund von Offset-, Imbalance- und Quadraturfehler arbeitet der Quadraturmischer 1 nicht ideal und das untere Seitenband SB bei der Frequenz $f_{LO} - f_{ZF}$ wird nicht vollständig unterdrückt, es bleibt auch ein Trägerrest TR bei der Frequenz f_{LO} und diese Signale SB und TR erscheinen im Ausgangssignal A als Störkomponenten, wie dies Fig. 2a zeigt.

Gemäß der Erfindung wird das Ausgangssignal A einem IQ-Demodulator 10 zugeführt, in welchem es über zwei Mischern 11 und 12 wiederum durch zwei in Quadratur zueinander stehende Überlagerungsfrequenzen f_{LO} des Überlagerungsszillators 5 in die IQ-Komponenten I' und Q' mit der gleichen Zwischenfrequenz ZF rückumgesetzt werden, mit der auch das Eingangssignal dem Quadraturmischer 1 zugeführt wird. Diese so rückumgesetzten Quadraturkomponenten I' und Q' am Ausgang des IQ-Demodulators werden einmal über Tiefpässe 13 und 14 unmittelbar einem Regler 15 zugeführt, sie entsprechen damit dem I- bzw. Q-Offset. Über Bandpässe 16 und 17, die auf die Zwischenfrequenz f_{ZF} abgestimmt sind, wird das I- und Q-Signal ausgefiltert und über Spitzenwertgleichrichter 18 und 19 ebenfalls dem Regler 15 zur Bestimmung des Imbalancefehlers zugeführt. Außerdem wird das gefilterte I- und Q-Signal einem Mischer 20 zugeführt und so der Quadraturfehler ermittelt, der über einen weiteren Tiefpaß 21 dem Regler 15 zugeführt wird. Im Regler 15 werden die so ermittelten Fehlerwerte des Quadraturmischers 1 ausgewertet und in Korrekturwerte umgerechnet, durch die die I und Q-Komponenten so korrigiert werden, daß die Offset-, Imbalance- und Quadraturfehler des Quadraturmischers 1 kompensiert und ausgeregelt werden.

Über die Mischern 22, 23 wird der Imbalance-Fehler korrigiert, über die Addierer 24, 25 der Offsetfehler und durch Einwirkung auf den 90° Phasenschieber 6 der Quadraturfehler.

Die in Fig. 1 im Prinzipschaltbild dargestellte unmittelbare Umsetzung des meist in der Frequenz veränderlichen Ausgangssignals A im IQ-Demodulator und die anschließende Auswertung der Quadraturkomponenten I' und Q' bei sich ändernder Frequenz wäre in der Praxis schwierig. Es ist daher zweckmäßig, die mit der Überlagerungsfrequenz f_{LO} veränderbare Ausgangsfrequenz A durch Zwischenschalten eines zusätzlichen Mixers in eine feste Zwischenfrequenz umzusetzen. Dazu ist ein mit dem Überlagerungsszillator 5 mitlaufender zusätzlicher Überlagerungsszillator erforderlich, der eine synchron mit der Frequenz f_{LO} jedoch gegenüber dieser um eine vorbestimmte konstante Zwischenfrequenz versetzte Frequenz abstimmbaar ist.

Fig. 3 zeigt ein praktisches Ausführungsbeispiel für einen erfindungsgemäßen Quadraturmischer. Die im Basisband als Digitalsignale zugeführten Eingangssignale werden in einem digitalen IQ-Modulator 4 mit Hilfe eines Frequenzsynthesizers DDS in die Quadraturkomponenten I und Q auf die Zwischenfrequenz f_{ZF} umgesetzt. Nach Durchlaufen der Mischern 22, 23 und Addierer 24, 25 werden die Digitalsignale mittels Digital-Analog-Wandler 32 und 33 wieder in Analogsignale umgesetzt und als Eingangssignale dem Quadraturmischer 1 zugeführt und dort mit der einstellbaren Überlagerungsfrequenz f_{LO} des Überlagerungsszillators 5 in das Nutzsignal bei der Frequenz $f_{RF} = f_{LO} + f_{ZF}$ am Ausgang A umgesetzt. Das Ausgangssignal wird einem zusätzlichen Mischer 30 zugeführt, in welchem das Ausgangssignal mit einer unmodulierten, jedoch mit der Überlagerungsfrequenz f_{LO} mitlaufenden Überlagerungsfrequenz $f_{CW} = f_{LO} - f_{ZF}$ auf eine feste Zwischenfrequenz $f_{IF} + f_{ZF}$ umgesetzt wird. Die Überlagerungsfrequenz f_{CW} wird in dem Überlagerungsszillator 31 erzeugt. Mit dem Überlagerungsszillator 34 wird die feste Überlagerungsfrequenz f_{IF} für den IQ-Demodulator 10 erzeugt. Über Tiefpässe 13 und 14 werden aus diesen ZF-Signalen die Offsetsignale ausge-

filtert und über Analog-Digital-Wandler 36, 37 dem Regler 15 zugeführt. Über die Bandpässe 16, 17 wird das I- und Q-Signal ausgefiltert und über Spitzenwertgleichrichter 18, 19 und Analog-Digital-Wandler 38, 39 als Imbalancefehler ebenfalls dem Regler 15 zugeführt. Mit einem Mischer 20 werden die I- und Q-Signale nach Filterung in einem Tiefpaß 21 und Digitalisierung im Analog-Digital-Wandler 40 als Quadraturfehler dem Regler 15 zugeführt. Die Fig. 2c und 2d zeigen die Wirkungsweise dieser Fehlersignal-Aufbereitung durch die Bandpässe 16, 17 und den Tiefpaß 21.

Um bei der Regelung auch die Eigenfehler des IQ-Demodulators 10 zu berücksichtigen, können in einem vorhergehenden Kalibrierverfahren auch diese Eigenfehler bestimmt und im Regler 15 abgespeichert und bei der späteren Regelung entsprechend berücksichtigt werden, ohne das Nutzsignal NS zu beeinträchtigen. Dazu ist vor dem IQ-Demodulator 10 ein wahlweise einschaltbarer Hochpaß 41 vorgesehen, der über einen Schalter 42 wahlweise dem IQ-Demodulator 10 vorschaltbar ist. Vor diesem Hochpaß 41 ist noch ein weiterer Tiefpaß 43 vorgesehen. Gemäß Fig. 2b wird mit dem Tiefpaß 43 am Ausgang des Mixers 30 das obere Mischprodukt weggefiltert, das untere Mischprodukt wird dem IQ-Demodulator 10 wahlweise direkt oder über den Hochpaß 41 zugeführt. Bei eingeschaltetem Hochpaß 41 wird gemäß Fig. 2b das untere Seitenband SB und der Trägerrest TR weggefiltert, so daß am Demodulatorausgang nur die Fehlersignale erscheinen, die der IQ-Demodulator 10 durch seine Analogtechnik selbst produziert (Offsetspannungen, Phasenfehler, ungleiche Dämpfung und dergleichen). Diese Fehler werden im Regler 15 abgespeichert und bei der anschließenden eigentlichen Regelung (bei ausgeschaltetem Hochpaß 41) entsprechend berücksichtigt. Bei einem alternativen Kalibrierverfahren für den IQ-Demodulator wird über den Schalter 44 das Sinussignal eines Oszillators 46 mit der Frequenz $f_{IF} + f_{ZF}$ zugeführt. Dies ist die Mittenfrequenz des Nutzsignals am Eingang des IQ-Demodulators. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 werden im Regler 15 aus den digital angelieferten Fehlersignalen unmittelbar digitale Korrekturwerte erzeugt, in diesem Beispiel erfolgt die eigentliche Korrektur also unmittelbar digital, lediglich für die Erzeugung des Quadraturfehlersignals ist eine Rückumwandlung in ein Analogsignal mittels eines Digital-Analog-Wandlers 44 erforderlich.

Damit das Nutzsignal f_{RF} während des Kalibriervorganges nicht beeinträchtigt wird, muß der Regler 15 die Kompensationssignale für den Quadraturmodulator vor der Kalibration abspeichern und während der Kalibration konstant halten.

und aus diesen so ermittelten Offset-, Imbalance- und Quadraturfehlerwerten in einem Regler (15) Korrekturwerte ermittelt werden, mit denen die Quadraturkomponenten des Zwischenfrequenz-Eingangssignals in fehlerkompensierender Weise fortlaufend korrigiert werden, ohne daß das Nutzsignal (NS) am Ausgang (A) beeinträchtigt wird.

2. Quadraturmischer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem IQ-Demodulator (10) ein wahlweise ein- und ausschaltbarer Hochpaß (41) vorgesehen ist und die bei eingeschaltetem Hochpaß bestimmten Eigenfehler des IQ-Demodulators im Regler (15) abgespeichert und bei der Fehlerkompensation der Zwischenfrequenz-Eingangssignale entsprechend berücksichtigt werden, ohne das Nutzsignal (NS) zu beeinträchtigen.

3. Quadraturmischer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal (A) vor dem IQ-Demodulator (10) auf eine konstante Zwischenfrequenz ($f_{IF} + f_{ZF}$) umgesetzt wird (Überlagerungsmischer 30).

4. Quadraturmischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Zwischenfrequenz-Eingangssignal als Digitalsignal zugeführt wird und die im analogen IQ-Demodulator ermittelten analogen Fehlerwerte vor dem Regler (15) digitalisiert werden.

5. Quadraturmischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem IQ-Demodulator (10) ein wahlweise ein- und ausschaltbarer Oszillator (46) vorgesehen ist und die bei eingeschaltetem Oszillator bestimmten Eigenfehler des IQ-Demodulators im Regler (15) abgespeichert und bei der Fehlerkompensation der Zwischenfrequenz-Eingangssignale entsprechend berücksichtigt werden, ohne das Nutzsignal (NS) zu beeinträchtigen.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

50

1. Quadraturmischer, mit dem die Quadraturkomponenten (I, Q) eines Zwischenfrequenz-Eingangssignals durch Mischen mit zwei in Quadratur zueinander stehenden Überlagerungsfrequenzen eines lokalen Überlagerungssoszillators (5) in ein Ausgangssignal (A) umgesetzt werden, **dadurch gekennzeichnet,**

daß das Ausgangssignal (A) mittels eines analogen IQ-Demodulators (10) auf die Zwischenfrequenz des Eingangssignals umgesetzt wird und aus den so rückgewonnenen Quadraturkomponenten (I, Q) in der Zwischenfrequenzlage

- a) der I und Q-Offset-Fehler bestimmt wird,
- b) mittels Zwischenfrequenz-Bandfilter und nachfolgender Gleichrichter die I- und Q-Imbalance-Fehler bestimmt werden, und
- c) durch Multiplikation dieser unter b) gewonnenen Signale der Quadraturfehler bestimmt wird,

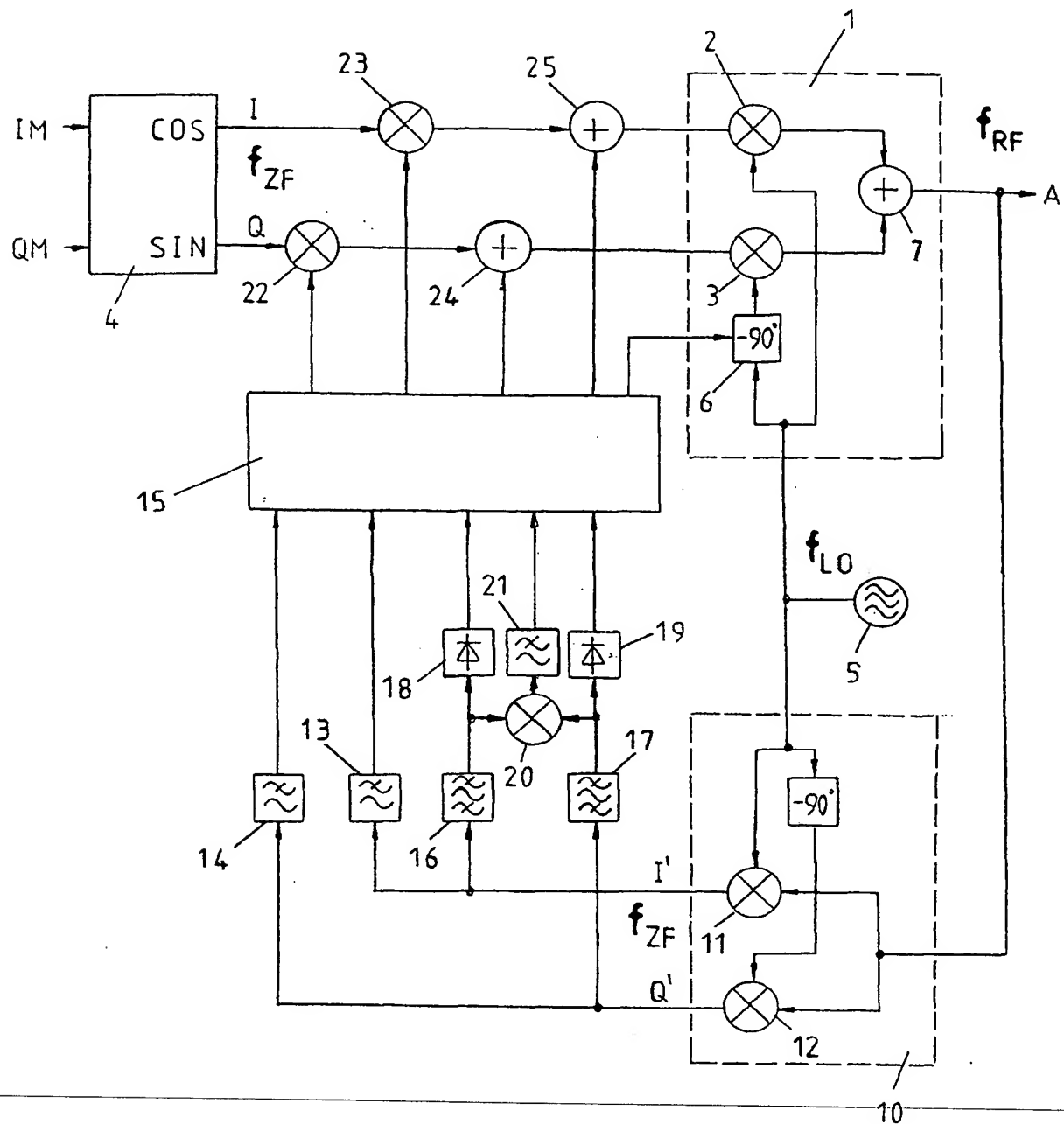


FIG 1

FIG 2a



FIG 2b

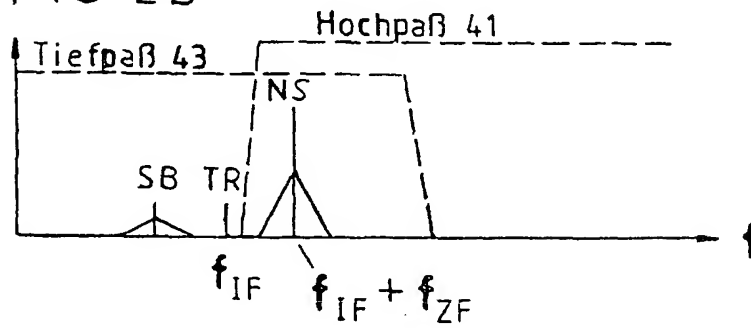


FIG 2c

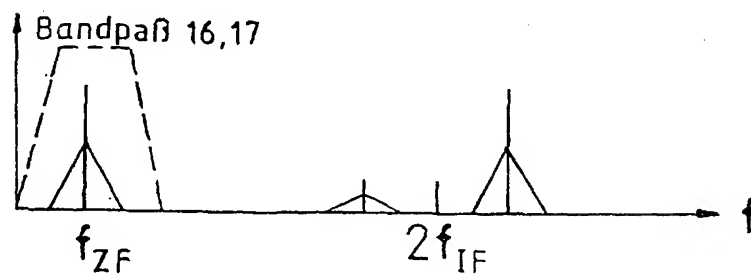
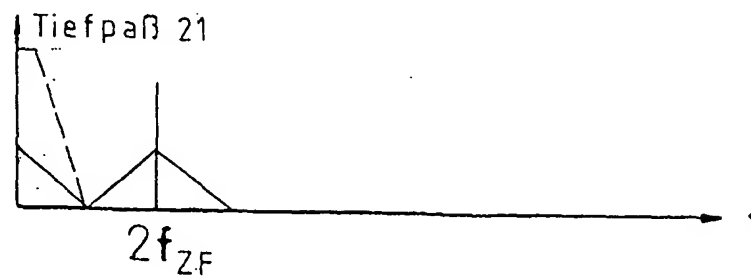


FIG 2d



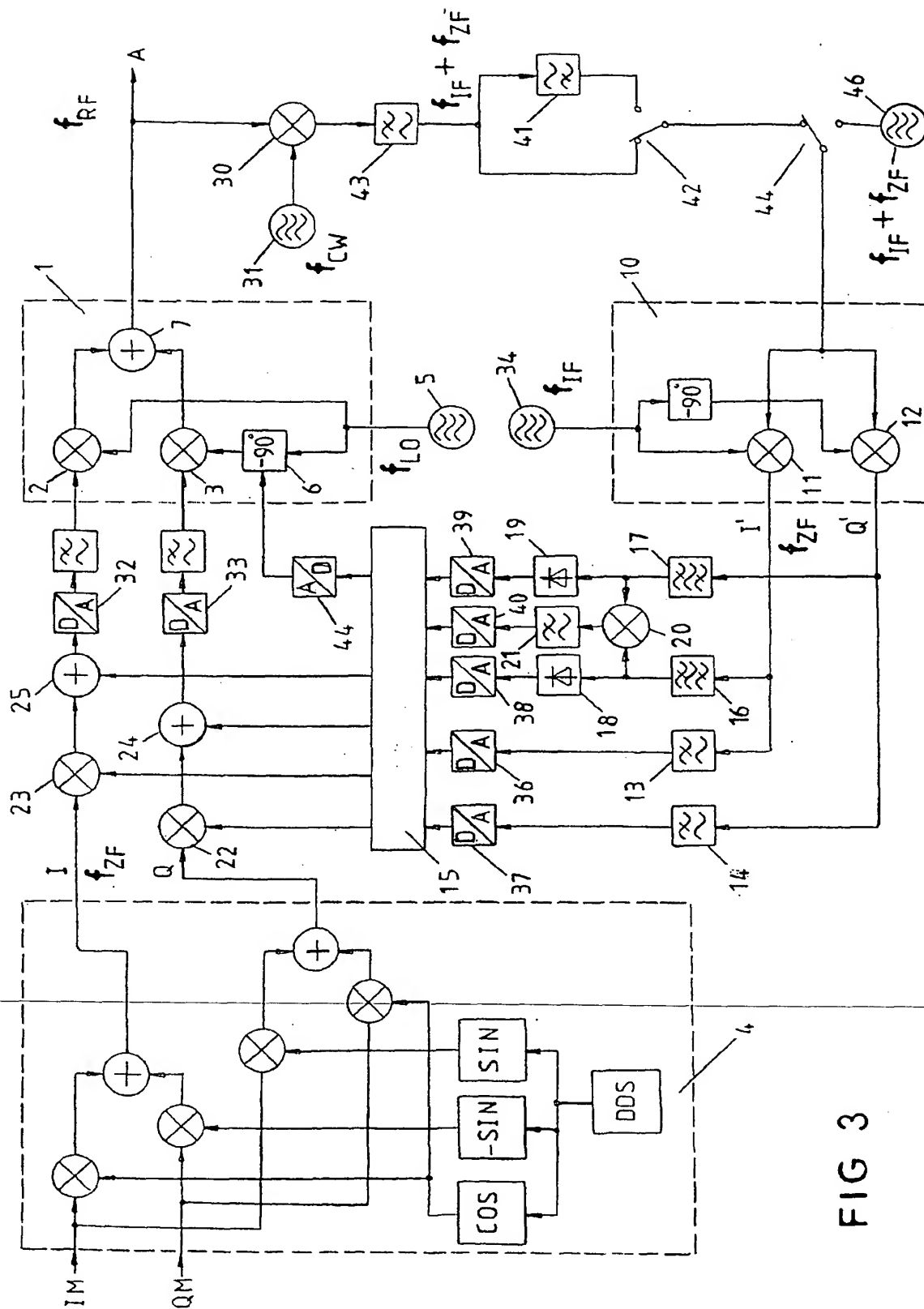


FIG 3